

Bibliography:

1. Snopkov V.I. Technology of transportation of freights by sea: the textbook for higher education institutions. 3rd prod., reslave. and additional / V.I. Snopkov. – Sankt-Peterburg : ANO NPO «Mir i Sem'ya». – 2001. – 560 p. (Rus.)
2. Code of safe practice for cargo stowage and securing. – M. : V/O «Mortekhinformreklama», 1992. – 116 p. (Rus.)
3. Amendments and appendix to the Code of safe practice for cargo stowage and securing (CSS Code). – Sankt-Peterburg : AOZT TSNIMF, 1995. – 27 p. (Rus.)
4. Aksyutin L.R. Cargo plan of the vessel / L.R. Aksyutin. – Odessa : LATSTAR, 1999. – 139 p. (Rus.)

Рецензент: А.М. Берестовой
д-р техн. наук, проф., АМИ ОНМА

Статья поступила 10.04.2015

УДК 62.114

© Иванов Е.И.¹, Вавилкина В.В.²

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ
ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»**

В данной статье описана оптимизация процесса обработки и минимизация числа смен инструмента. Приведены два варианта составления маршрутов обработки, согласно правилам построения маршрутов обработки для станков типа «обрабатывающий центр». Первый - по классической технологии обработка каждого отверстия осуществляется полностью по всем переходам, обеспечивающим требуемую точность размеров и формы. Второй - минимизация числа смен инструмента. Этот метод заключается в разбиении отверстий на группы по диаметру. Сначала происходит обработка отверстий одним инструментом, по первому переходу обрабатываются все отверстия одной группы, затем – осуществляется смена инструмента и обработка по второму переходу и т.д.

Ключевые слова: вспомогательное время, станок типа «обрабатывающий центр», задача коммивояжера, оптимизация маршрута обработки.

Іванов Е.І., Вавілкина В.В. Оптимізація маршруту обробки елементарних поверхонь складних корпусних деталей на верстатах типу «обробляючий центр». У даній статті описана оптимізація процесу обробки та мінімізація числа змін інструменту. Наведено два варіанти складання маршрутів обробки, згідно з правилами побудови маршрутів обробки для верстатів типу «обробний центр». Перший - за класичною технологією обробка кожного отвору здійснюється повністю по всіх переходах, що забезпечує необхідну точність розмірів і форми. Другий - мінімізація числа змін інструменту. Цей метод полягає в розбитті отворів на групи по діаметру. Спочатку відбувається обробка отворів одним інструментом, по першому переходу обробляються всі отворів однієї групи, потім - здійснюється зміна інструменту і обробка по другому переходу і т.д.

Ключові слова: допоміжний час, верстат типу «обробляючий центр», задача коммивояжера, оптимізація маршруту обробки.

¹ канд. техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Ivanov-ei@yandex.ru

² студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, valerchik.vvv@mail.ru

E.I. Ivanov, V.V. Vavilkina. Optimization processing of the elementary surfaces of the composite body parts on machines such as «machining center». This article describes the processing optimization and minimizing the number of tool changes. Two versions for setting the processing scheme, according to the rules for processing scheme setting for the «processing center» machines were offered. In the first version, according to the classical technology processing of each hole is carried out over all the passes, providing for the required accuracy of sizes and shapes. In the second version the number of tool changes is minimized. This method consists of dividing all the holes into groups according to their diameters. All the holes of the same diameter are processed over one pass; then the tools are changed and the holes of some other diameter are processed and so on. Let us consider the optimization problem. The traveling salesman problem - is one of the most famous problems in the theory of combinatorics. The problem is as follows: a travelling salesman (hawker) must find the most advantageous route coming out of a town and visiting all other towns from 2,3,...to...n just once in an unknown order and come back to the first town. The distances between all the towns are known. It is necessary to determine in what order the Salesman must visit the towns so that the route should be the shortest. There exists just one absolutely precise algorithm - sorting options. This option is the longest, so the most inefficient. There are also simpler methods to solve the travelling salesman problem: the branch and bound algorithm and ant colony method and method of genetic algorithms.

Keywords: auxiliary time, machine-type «machining center», the travelling salesman problem, the route optimization processing.

Постановка проблемы. В настоящее время машиностроение – ведущая отрасль производства. Эффективность производства и качество выпускаемой продукции во многом зависит от нового оборудования и от совершенствования технологических процессов. Повышение темпов научно-технического прогресса вызывает частую смену объектов машиностроительного производства, что, в свою очередь, требует от машиностроения создания новых видов продукции. В условиях рыночной экономики для того, чтобы продукция машиностроения была конкурентоспособной, необходимо обеспечить ее высокое качество. Решение этой задачи невозможно без широкого применения вычислительной техники, станков типа «обрабатывающий центр». Стремление к дальнейшему снижению основного и вспомогательного времени, минимизации числа смен инструмента оказало влияние на улучшение конструкций станков и усовершенствование систем программного управления. Это позволило обеспечить полную автоматизацию процесса обработки детали на одном станке [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. В машиностроении различают три вида оптимизации – структурная, параметрическая, производственная. Рассматриваются и решаются такие критерии оптимизации: оптимизация на уровне маршрута связана с выбором структуры технологического процесса; максимальная производительность; минимальная технологическая себестоимость; оптимальность режимов резания по технологическим переходам; оптимизация параметров станочных приспособлений по точностным критериям и т.д.

В монографии [3] приведены результаты теоретических исследований с использованием системного подхода процессов механической обработки с целью построения их математических моделей. Особое внимание уделено разработке методов структурной и параметрической оптимизации технологических процессов (ТП). Применительно к структурной оптимизации описаны методы выбора вида заготовки, маршрута обработки, структуры технологической операции, рациональной системы станочных приспособлений и др. Особенности параметрической оптимизации ТП рассмотрены на примерах многокритериальной и многопараметрической оптимизации режимов механической обработки. Показана возможность выбора прогрессивных технологий с использованием автоматизированных банков данных.

В монографии [4] на современном уровне изложена общая методология исследования операций и рассмотрены все классы операционных задач, а также основы математического аппарата, используемого для их решения. Освещены принципы операционного подхода к решению таких вопросов, как постановка задачи, построение ее математической модели, получение, оценка и практическое использование найденного решения.

Если задачи малых возможностей можно решить, опираясь на здравый смысл, то задачи больших размерностей требуют для своего решения строгого и систематического подхода. Аналитическое решение такой задачи не найдено, однако было предложено несколько вычислительных алгоритмов поиска решения.

Цель статьи – оптимизация маршрута обработки с целью увеличения производительности универсальных станков путем снижения числа смен инструмента и сокращения вспомогательного времени с помощью математической задачи. Для достижения поставленной цели необходимо решить проблему последовательной обработки инструментами отверстий данной детали.

Изложение основного материала. Существуют различные методы построения маршрута обработки заготовки на станке «обрабатывающий центр». Рассмотрим корпусную деталь, имеющую сторону, на которой будем обрабатывать ряд отверстий (рис. 1).

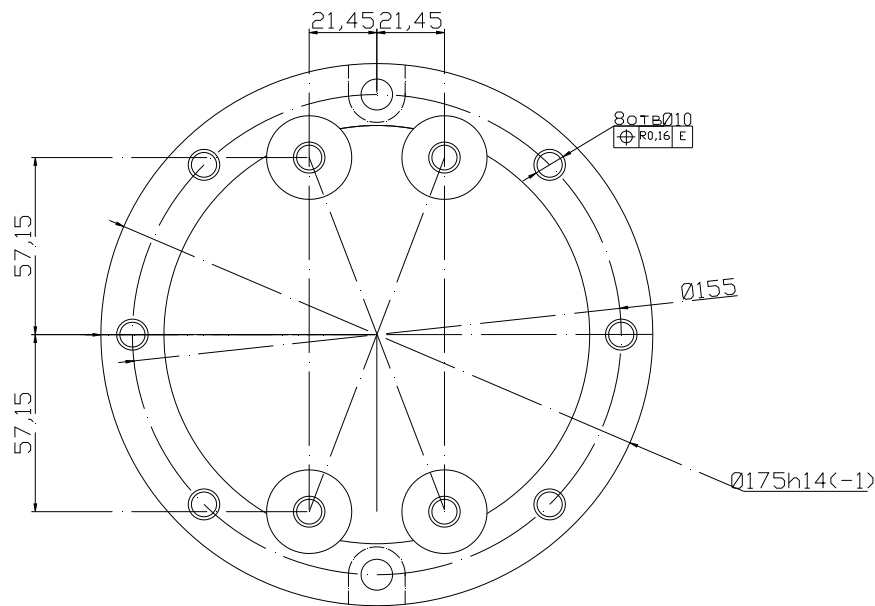


Рис. 1 – Эскиз детали

Крепежные отверстия сверление и цекование. Все переходы выполняются при одном позиционировании детали относительно шпинделя станка. По классической технологии обработка каждого отверстия осуществляется полностью по всем переходам, обеспечивающим требуемую точность размеров и формы. При завершении полной обработки одного отверстия осуществляется перемещение детали для обработки второго и т.д. Очевидно, что такой маршрут не оптимален, так как происходит слишком частая смена инструмента и время на его смену достигает 40% вспомогательного времени [5].

Следующим шагом стала минимизация числа смен инструмента. Этот метод построения операции на станке «обрабатывающий центр» заключается в разбиении отверстий на группы по диаметру. Сначала происходит обработка отверстий первой группы, т.е. одним инструментом по первому переходу обрабатываются все отверстия одной группы, затем – осуществляется смена инструмента и обработка по второму переходу и т. д. Затем выполняется обработка следующей группы отверстий.

Далее необходимо оптимизировать маршрут обработки множества отверстий каждой группы. В качестве целевой функции принимается время холостых перемещений. Необходимо определить последовательность обработки отверстий в группе, при которой время холостых перемещений будет минимальным, т.е. найти маршрут меньшей длины. Достоинство данного метода заключается в минимизации числа смен инструмента.

В настоящий момент время на смену инструмента на станке «обрабатывающий центр» достигает 3..6 с., поэтому дальнейшим шагом на пути минимизации вспомогательного времени стала оптимизация всего процесса обработки. Теперь в качестве целевой функции принимается сумма времени холостых перемещений и времени смены инструмента.

Составление маршрутов обработки согласно правилам построения маршрутов обработки для многоцелевых станков. Составим маршруты обработки в двух вариантах и сравним их. Нумерация переходов необходимо для заполнения матрицы переходов. Нумерация каждого перехода представлена в таблице 1.

Таблица 1

Маршрут обработки

Переходы	Обработка
1...4	Сверление Ø26H14
5...16	Сверление Ø10A11
17...28	Цекование Ø10A11

Первый вариант, при котором каждое отверстие обрабатывается полностью по всем переходам при одном позиционировании рабочего органа, представлен в таблице 2.

Таблица 2

Минимизация числа позиционирований

Номер по порядку	Переходы	Номер по порядку	Переходы	Номер по порядку	Переходы
1	1	11	8	21	13
2	2	12	20	22	25
3	3	13	9	23	14
4	4	14	21	24	26
5	5	15	10	25	15
6	17	16	22	26	27
7	6	17	11	27	16
8	18	18	23	28	28
9	7	19	12		
10	19	20	24		

Второй вариант маршрута обработки: сначала одним инструментом сверлят отверстия Ø26H14, затем сверление – Ø10A11, происходит смена инструмента и цекование этих отверстий. При таком способе суммарное вспомогательное время и минимизация количества смен инструмента существенно сокращается по сравнению с предыдущим вариантом. Маршрут для этого варианта представлен в таблице 3.

Таблица 3

Минимизация числа смен инструмента

Номер по порядку	Переходы	Номер по порядку	Переходы	Номер по порядку	Переходы
1	1	11	11	21	21
2	2	12	12	22	22
3	3	13	13	23	23
4	4	14	14	24	24
5	5	15	15	25	25
6	6	16	16	26	26
7	7	17	17	27	27
8	8	18	18	28	28
9	9	19	19		
10	10	20	20		

Расчет вспомогательного времени.

Построим математическую модель и приведем задачу к математическому виду. Решение поставленной цели произведем с помощью задачи коммивояжера. Все вершины перенумерованы.

ны числами $u \in T = (1, 2, 3, \dots, n)$.

Тур коммивояжера описан циклической перестановкой $l = (u_1, u_2, \dots, u_n, u_1)$, причём все u_1, \dots, u_n – разные номера; повторяющийся в начале и в конце u_1 , показывает, что путь замкнут. Расстояния между двух вершин C_{iu} образуют матрицу C . Задача состоит в том, что необходимо найти такой путь l , чтобы минимизировать функционал:

$$L = L(l) = \sum_{k=1}^n C_{u_k u_{k+1}} \quad (1)$$

Относительно данной формулировки ЗК сделаем два замечания. Во-первых, в постановке C_{iu} учитываются расстояния, поэтому они не могут быть отрицательными, т.е. для всех $u \in T$:

$$C_{iu} \geq 0; C_{iu} = \infty, \quad (2)$$

(последнее равенство означает запрет на петли в пути), симметричными, т.е. для всех i, u :

$$C_{iu} = C_{ui}, \quad (3)$$

и удовлетворять неравенству треугольника, т.е. для всех:

$$C_{iu} + C_{uk} \geq C_{ik}. \quad (4)$$

В математической постановке говорится о произвольной матрице. Сделано это потому, что имеется много прикладных задач, которые описываются основной моделью, но всем условиям (2)-(4) не удовлетворяют. Особенно часто нарушается условие (3) (например, если C_{iu} – не расстояние, а время поездки: часто туда время одно, а обратно – другое). Поэтому нужно выделить два варианта ЗК: симметричную задачу, когда условие (3) выполняется, и несимметричную – в противном случае. Условия (2)-(4) по умолчанию будем считать выполненными.

Второе замечание касается числа всех возможных путей. В несимметричной ЗК все пути $l = (u_1, u_2, \dots, u_n, u_1)$ и $l' = (u_1, u_n, \dots, u_2, u_1)$ имеют разную длину и должны учитываться оба. Разных туров очевидно $(n-1)!$.

Зафиксируем на первом и последнем месте в циклической перестановке номер u_1 , а оставшиеся n номеров переставим всеми $(n-1)!$ возможными способами. В результате получим все несимметричные пути. Симметричных путей имеется в два раза меньше, т.к. каждый засчитан два раза: как l и как l' .

Можно представить, что C состоит только из единиц и нулей. Тогда C можно интерпретировать, как граф, где ребро (i, u) проведено, если $C_{iu} = 1$ и не проведено, если $C_{iu} = 0$. Тогда, если существует тур длины $n+1$, то он пройдёт по циклу, который включает все вершины по одному разу. Такой цикл называется гамильтоновым циклом. Незамкнутый гамильтонов цикл называется гамильтоновой цепью (гамильтоновым путём) [6].

С помощью MS Excel, переводим матрицу в 1 и 0, задаем число обрабатываемых поверхностей (рис. 2).

После окончания заполнения матрицы можем посчитать суммарное вспомогательное время с

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Задача коммивояжера									
2		матрица расстояний								
3		1	2	3	4	5	6	7	8	
4		1	0	1	5	1	1	6	5	
5		2	6	0	4	5	7	4	3	
6		3	3	3	0	3	3	8	7	
7		4	3	3	3	0	3	2	4	
8		5	5	1	9	1	0	1	6	
9		6	9	6	6	9	8	0	2	
10		7	8	7	7	2	6	3	0	
11		8	5	9	9	8	4	7	8	
12		9	1	8	5	6	3	6	1	
13		10	6	2	2	4	8	9	9	
14		11	7	3	5	1	7	5	7	
15		12	3	7	4	5	7	2	6	
16		13	5	6	6	3	3	3	2	
17		14	9	4	3	0	3	4	8	
18		15	7	1	7	4	9	1	9	
19		16	7							

Рис. 2 – Заполнение матрицы в MS Excel

учетом смен инструмента для первого варианта. Меняем значения и считаем для второго варианта.

Выводы

Результаты работы показали, что при втором способе суммарное вспомогательное время и минимизация количества смен инструмента существенно сокращается по сравнению с первым вариантом. При оптимизации сложных корпусных деталей с элементарными поверхностями или более простой детали, как в примере, происходит уменьшение суммарного вспомогательного времени с учетом смены инструмента. Смена инструмента происходит путем решения задачи коммивояжера, выбирается оптимальный вариант, при этом, учитывая высокую стоимость станкоминуты работы на станках типа «обрабатывающий центр», помогает сохранить незначительные затраты.

Список использованных источников:

1. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / В.М. Зарубин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1979. – 247 с.
2. Дальский А.М. Технология машиностроения: учебник для вузов : в 2-х т. / А.М. Дальский, А.И. Кондаков. – 3-е изд., испр. и перераб. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 478 с.
3. Рыжов Э.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.И. Рыжов, В.И. Аверченков. – Киев : Наукова думка, 1989. – 192 с.
4. Акоф Р. Основы исследования операций / Р. Акоф, М. Сасиени. – М. : Мир, 1971. – 536 с.
5. Косилова А.Г. Справочник технолога машиностроителя: в 2-х т.; Т. 1 / А.Г. Косилова, А.М. Дальский, Р.К. Мещеряков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – 912 с.
6. Мудров В.И. Задача коммивояжера / В.И. Мудров. – М. : Знание, 1969. – 66 с.

Bibliography:

1. The automated system design process of mechanical assembly production / V.M. Zarubin [et al.]. – M. : Mashinostroyeniye, 1979. – 247 p. (Rus.)
2. Dalsky A.M. Engineering Technology: a textbook for high schools: in 2 vol. / A.M. Dalsky, A.I. Kondakov. – 3rd ed., rev. and revised. – M. : Publishing House of the MSTU. N.E. Bauman, 2011. – 478 p. (Rus.)
3. Ryzhov E.I. Optimizaciya technological processes of tooling / E.I. Ryzhov, V.I. Averchenkov. – Kiev : Naukova dumka, 1989. – 192 p. (Rus.)
4. Akof R. Osnovy analyses of operations / R. Akof, M. Sasieni. – M. : Mir, 1971. – 536 p. (Rus.)
5. Kosilova A.G. Directory technologist mechanic: in 2 vol.; Vol. 1 / A.G. Kosilova, A.M. Dalsky, R.K. Mescheryakov. – 5th ed., rev. and revised. – M. : Mashinostroyeniye, 2001. – 912 p. (Rus.)
6. Mudrov V.I. Traveling Salesman Problem / V.I. Mudrov. – M. : Znanie, 1969. – 66 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самогугин
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 06.04.2015